Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
Vol. 14, No. 1, June 2023, p. 112-132
Original Research; DOI: 10.22067/ijpr.v14i1.2207-1040




پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره) ۱۴ شمارهٔ ۱، نیمهٔ اوّل ۱۴۰۲
صفحهٔ ۱۳۲-۱۱۲ ، نوع مقاله: پژوهشی

واکنش عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت مخلوط با تریتیکاله به کودهای زیستی و شیمیایی تحت شرایط تنش آبی

آیدا رشیدی‌پور[۱]، وحید براتی[۲]* و احسان بیژن‌زاده[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز؛ aidarashidipur@gmail.com؛ شناسه ارکید: 0000-0001-6049-3554

۲- استادیار بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز؛ v.barati@shirazu.ac.ir
شناسه ارکید: 0000-0002-0600-8359

۳- دانشیار بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز؛ bijanzd@ shirazu.ac.ir
شناسه ارکید: 0000-0003-2076-2048

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹، **بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۹/۱۶، **پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۰/۰۸؛ **انتشار آنلاین مقاله:** ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

نحوه ارجاع به مقاله:
رشیدی‌پور، آ. براتی، و.، و بیژن‌زاده، ا. ۱۴۰۲. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت مخلوط با تریتیکاله به کودهای زیستی و شیمیایی تحت شرایط تنش آبی. پژوهش‌های حبوبات ایران ۱۴(۱): ۱۳۲-۱۱۲.

چکیده

به‌منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت خالص و مخلوط با تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) تحت شرایط تنش آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب ـ دانشگاه شیراز در سال زراعی ۱۳۹۹ـ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارها در دو سطح آبیاری [مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله گل‌دهی] به‌عنوان عامل اصلی و سه منبع کودی [شیمیایی (۵۰کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار)، تلفیقی (۲۵کیلوگرم فسفر بر هکتار+ ۷۵کیلوگرم نیتروژن بر هکتار+۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار+ تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)، زیستی (۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار+ تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* (*Pseudomonas fluorescens*) و *آزوسپیریلوم براسیلنس* (*Azospirillum brasilence*)] و سه نوع کشت [کشت خالص نخود، کشت خالص تریتیکاله، کشت مخلوط تریتیکاله نخود (۱:۱)] به‌عنوان عوامل فرعی بودند که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد در شرایط تنش آبی، عملکرد و اجزای عملکرد نخود در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن کاهش کمتری نشان داد. تنش آبی در مرحله پس از گلدهی منجر به کاهش وزن دانه، تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت نخود شد. تنش آبی عملکرد دانه نخود را در همه تیمارها کاهش داد، اما این کاهش در تیمارهای مختلف متفاوت بود. کمترین کاهش عملکرد در تیمار کود زیستی به میزان ۲۷ درصد مشاهده شد. تنش آبی همچنین عملکرد دانه نخود را در تیمار مخلوط نسبت به خالص به مقدار کمتری کاست (به ترتیب۲۴ و ۵۵ درصد). بنابراین، استفاده از کود زیستی در شرایط کمبود آب در مرحله‌ی پس از گلدهی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زیست‌توده؛ شاخص برداشت؛ کشاورزی پایدار؛ کم‌نهاده

مقدمه

ایران به‌دلیل قرار داشتن در کمربند خشک کره زمین، همواره با تنش‌های آبی مواجه بوده است (Mokhtari & Moradi, 2021) و در دهه‌های آینده، به‌طور متوسط کاهش ۳۵ درصدی بارندگی را تجربه خواهد کرد (Daneshvar *et al.*, 2019). بنابراین، تنش آبی یکی از عمده‌ترین مشکلات کشاورزی است که بر رشد، توسعه و بهره‌وری گیاهان اثر می‌گذارد (Kour *et al.*, 2020) و عامل اصلی کاهش عملکرد و

* نویسنده مسئول: v.barati@shirazu.ac.ir

اجزای عملکرد در تولید گیاهان زراعی، نسبت به سایر تنش‌های غیر زیستی است (Wang *et al*., 2019). از سوی دیگر، کشاورزی رایج با کاهش تنوع زیستی و اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی و منابع موجود در آن از جمله آب و خاک، محیط زیست را به مخاطره انداخته است (Gliessman, 2001).

کشاورزی زیستی به عنوان یک راه حل برای مشکلات مذکور، به کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی (Niggli, 2015) و کاهش مصرف آب در مزرعه (Yin *et al*., 2020) کمک می‌کند. باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس* (*Azospirillum brasilense*) یکی از باکتری‌های هوازی و آزادزی است که توانایی تثبیت نیتروژن را دارد (Vurukonda *et al*., 2016). میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر از جمله باکتری *سودوموناس فلورسنس* (*Pseudomonas fluorescens*) می‌توانند فسفر نامحلول در خاک را با مکانیسم‌های مختلفی از جمله ترشح اسیدهای آلی، تولید آنزیم و ترشح سیدروفور حل کنند و با تشکیل کمپلکس‌هایی، فسفر را برای جذب در دسترس گیاه قرار دهند (Rawat *et al*., 2021). باکتری‌های *آزوسپریلوم* و *سودوموناس* با تولید سیتوکینین، به افزایش رشد طولی و عرضی ریشه گیاه کمک می‌کنند (Nieto *et al*., 1989 Arkhipova *et al*., 2005; Aloni *et al*., 2006;) و به همین دلیل، کارایی استفاده از آب را بالا خواهند برد (Pereira *et al*., 2020). نیازی و همکاران (Niazi Ardakani *et al*., 2020) نشان دادند که کاربرد باکتری *آزوسپیریلوم* در خاک سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه جو (*Hordeum Vulgare* L.) شد. این امر می‌تواند سبب دوام سطح برگ و فتوسنتز بیشتر در دوره پر شدن دانه و در نهایت افزایش عملکرد دانه شود. همچنین، در پژوهشی بر روی نخود به صورت تک کشتی نشان داده شد که تلقیح بذر نخود با باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس* منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف و عملکرد دانه شد (Burdman *et al*., 1996). پژوهش دیگری روی گیاه عدس نشان داد که تلقیح بذر این گیاه با باکتری *سودوموناس فلورسنس*، افزایش صفاتی از جمله، تعداد غلاف در بوته، وزن دانه و شاخص برداشت را در پی داشته است (Erdemci, 2020). رضاپوریان و همکاران (Rezapoorian *et al*., 2020) نیز گزارش کردند که تلقیح توام بذر ماش با باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس*، *سودوموناس فلورسنس* و قارچ *میکوریزا* روی ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه ماش تاثیر مثبت و معنی‌دار داشت.

استفاده از مواد آلی از جمله کود حیوانی نیز به عنوان راه حل دیگری به منظور کاهش استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره و همچنین کاهش بروز تنش آب بواسطه‌ی افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک مطرح است (Risse *et al*., 2006). پورموسوی و همکاران (Pour Musavi *et al*., 2007) در پژوهشی بر روی گیاه سویا نتیجه گرفتند که با افزایش کاربرد کود دامی در شرایط مواجه مزرعه با تنش آبی، گیاه به‌دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، تنش کمتری را تجربه می‌کند. اسدی و همکاران (Asadi *et al*., 2018) در پژوهشی نشان دادند، کاربرد کود دامی به‌مقدار ۳۰ تن بر هکتار، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز را ۱۵ درصد نسبت به شاهد (بدون کاربرد کود دامی) افزایش داد، که دلیل آنرا بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بیان کردند.

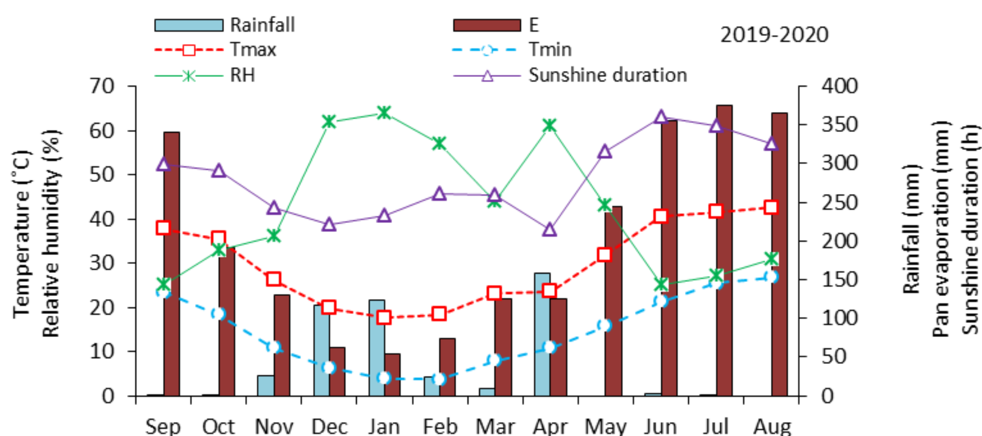
به‌منظور کاهش مصرف کود نیتروژن و همچنین کاهش اثرات نامطلوب تنش آبی استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار از جمله کشت مخلوط، در سیستم‌های کشاورزی با منابع محدود و کم‌نهاده توصیه شده است (Dai *et al*., 2019). کشت مخلوط غلات و حبوبات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا با جذب نیتروژن موجود در اتمسفر، بخشی از نیاز غذایی گیاهان را پاسخ می‌دهد (Hauggaard-Nielsen *et al*., 2009). علاوه بر این، غلات و حبوبات از نظر مورفولوژیکی و نحوه قرارگیری ریشه‌ها در خاک متفاوت هستند (Hauggaard-Nielsen & Jensen, 2005 Li *et al*., 2014;) که این تفاوت می‌تواند منجر به کاهش رقابت برای دستیابی به آب و مواد غذایی در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی و در نتیجه کاهش اثرات تنش کمبود آب و عناصر غذایی خاک شود. بعلاوه، استفاده بهینه از آب و عناصر غذایی خاک و نیتروژن اتمسفری در کشت مخلوط غلات و حبوبات، این نوع کشت منجر به کاهش اثرات مخرب زیست محیطی نسبت به مزارع پر نهاده امروزی می‌شود (Pelzer *et al*., 2012). نتایج حاصل از پژوهش اسکندری و کاظمی (Eskandari & Kazemi, 2020) نیز نشان داد، کشت مخلوط گندم و باقلا منجر به افزایش ۵۹ درصدی بهره وری آب نسبت به کشت خالص شد.

با توجه به کمبود اطلاعات در مورد کشت مخلوط تریتیکاله و نخود در مناطق گرم و خشک جنوب ایران و نقش باکتری‌های *آزوسپیریلوم* و *سودوموناس*، کاربرد کود دامی و کشت مخلوط در کاهش اثرات مخرب تنش آبی، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر سامانه‌های مختلفی کودی (شیمیایی، تلفیقی و زیستی) در کشت خالص نخود و کشت مخلوط نخود و تریتیکاله ، در شرایط تنش آبی پس از گلدهی بر عملکرد و

اجزای عملکرد دانه نخود در شرایط گرم و نیمه خشک جنوب استان فارس (داراب) اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب ـ دانشگاه شیراز (طول جغرافیایی °۵۴ و ′۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی °۲۸ و ′۵۰ شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۰متری از سطح دریا) در سال زراعی ۱۳۹۹ـ ۱۳۹۸ اجرا شد. داراب با میانگین بارش بلند مدت سالیانه (۲۷ ساله، از سال ۱۳۷۳ تا سال ۱۴۰۰) ۲۶۴ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه ۲۲/۵ درجه سلسیوس، دارای آب وهوای گرم و نیمه خشک می‌باشد. وضعیت آب و هوای منطقه داراب در سال زراعی ۱۳۹۹ـ ۱۳۹۸ در شکل ۱ نشان داده شده است. جهت بررسی بافت خاک و عناصرغذایی موجود در آن، نمونه‌ای مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب فرستاده شد. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- بارندگی ماهیانه، تبخیر از تشت تبخیر، طول دوره روشنایی، میانگین کمینه و بیشینه‌ی دمای هوا و رطوبت نسبی در طول سال زراعی۱۳۹۹ -۱۳۹۸.

Fig. 1. Monthly rainfall, pan evaporation (E), sunshine duration, mean minimum and maximum air temperatures (Tmin and Tmax, respectively) and relative humidity (RH) during 2019- 2020 growing season

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth

ویژگی Characteristic	واحد Unit	مقدار Amount	ویژگی Characteristic	واحد Unit	مقدار Amount
شن Sand	%	38.23	نیتروژن کل Total N	%	0.09
سیلت Silt	%	45.10	پتاسیم قابل استفاده Available K	$mg.kg^{-1}$	340
رس Clay	%	16.67	فسفر قابل استفاده Available P	$mg.kg^{-1}$	10.67
کربن آلی O.C.	%	0.93	آهن قابل استفاده Available Fe	$mg.kg^{-1}$	6.01
ماده آلی O.M.	%	1.57	منگنز قابل استفاده Available Mn	$mg.kg^{-1}$	15.88
قابلیت هدایت الکتریکی EC	$dS.m^{-1}$	1.07	مس قابل استفاده Available Cu	$mg.kg^{-1}$	1.54
پ هاش pH	----	7.49	روی قابل استفاده Available Zn	$mg.kg^{-1}$	0.63

تیمارها شامل دو سطح آبیاری [۱ـ مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک و ۲ـ تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله‌ی گلدهی] به‌عنوان عامل اصلی و عوامل فرعی شامل سه منبع کودی [۱ـ شیمیایی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر (۱۵۰کیلوگرم نیتروژن برهکتار به صورت اوره + ۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار به صورت سوپرفسفات تریپل)، ۲ـ تلفیقی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر به اندازه نصف نیاز گیاه (۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار + ۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار) + کود گوسفندی به‌اندازه‌ی نصف نیاز گیاه (۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*، ۳ـ زیستی: کود گوسفندی کامل (۴۰ تن بر هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*] و دو نوع کشت [۱ـ کشت خالص نخود، ۳ـ کشت مخلوط نخود و تریتیکاله (۱:۱)] بود که به صورت فاکتوریل در هر تکرار قرار گرفتند.

عملیات خاکورزی با گاو آهن برگردان‌دار و دیسک، و بعد از آن کرت بندی در ابعاد ۲×۳/۵ متر انجام شد. دو هفته قبل از کاشت، کود دامی (گوسفندی) به‌مقدار (۴۰ و۲۰ تن بر هکتار) به کرت‌های مربوطه اضافه و با خاک مزرعه مخلوط شد. پس از آن آبیاری کرت‌ها به‌منظور پوسیدگی کود دامی انجام گرفت. کود دامی مورد استفاده دارای ۳۲/۳۱ درصد ماده آلی، پ هاش ۷/۹۷، قابلیت هدایت الکتریکی ۸/۲۱ دسی‌زیمنس بر متر، نیتروژن کل ۱/۵۱ درصد، فسفر قابل دسترس ۲۵/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، پتاسیم قابل دسترس ۵۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مس قابل دسترس ۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم، منگنز قابل دسترس ۲۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم، روی قابل دسترس ۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آهن قابل دسترس ۲۷۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. با توجه به نتایج آزمون خاک مزرعه، کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل با توجه به تیمارها به میزان ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم برهکتار یک روز قبل از کاشت به‌صورت نواری و زیر ردیف‌های کشت به کرت‌های مربوطه اضافه شد. بذر نخود (رقم منصور) (مناسب برای کشت در مناطق دیم معتدل و نیمه گرمسیری کشور) و بذر تریتیکاله (رقم هاشمی) (رقم زودرس مناسب برای کاشت در اراضی کم بازده) از موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شدند و بر روی ۶ خط کاشت به‌طول ۳ متر و با فاصله ۲۵ سانتی‌متری کاشته شدند. باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* (*Azospirillum brasilense*) و *سودوموناس فلورسنس* (*Pseudomonas fluorescens*) نیز از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردید.

قبل از عملیات کاشت، ضدعفونی بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد و پس از آن بذرها با آب مقطر سترون شستشو و خشک شدند. سپس، به مدت ۳۰ ثانیه بذرها در محلول شکر ۲۰ درصد قرار گرفتند، تا تمام سطح بذر به‌صورت یکنواخت چسبناک شود. تلقیح بذرهای تریتیکاله و نخود در شرایط آزمایشگاهی و بعد از گندزدایی انجام شد. مایه تلقیح باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* (۲۰ گرم از هر باکتری در ازای هر کیلوگرم بذر، حاوی $۱۰^۸$ سلول باکتری در هر گرم) به بذرهای چسبناک اضافه شده و بعد از ۴۵ ثانیه تکان دادن ظرف محتوی بذر و باکتری، بذرهای آغشته به مایه تلقیح روی ورقه آلومینیومی پهن شدند تا در سایه خشک شوند (Niazi ardakani *et al*., 2021).

عملیات کاشت بذر بر اساس مقدار توصیه شده برای نخود (۴۰ بوته بر مترمربع) و تریتیکاله (۲۵۰ بوته بر مترمربع) در تاریخ ۸ دی ماه انجام و پس از آن آبیاری کرت‌ها به‌صورت یکنواخت صورت گرفت. در تیمار کاربرد کود شیمیایی، کود نیتروژن در سه مرحله رشدی، توسعه برگ‌ها (کد BBCH ۱۵)، ساقه‌دهی (کد BBCH ۲۳) و گلدهی (کد BBCH ۶۱) (Meier, 2001) به‌مقدار مساوی به کرت‌ها اضافه و بعد از آن آبیاری انجام شد. همچنین، در تیمارهای کود زیستی و تلفیقی، علاوه بر تلقیح بذرها، باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* در دو مرحله گیاهچه‌ای و رشد سریع، به صورت سرک همراه با آب آبیاری و به مقدار ۱۰ گرم از هر باکتری برای هر کرت استفاده شد.

در کرت‌های آبیاری مطلوب، محتوای رطوبت خاک به‌روش وزنی اندازه‌گیری شد. به این منظور، از عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک، در فواصل ۳۰ سانتی‌متری نمونه برداری با مته از خاک انجام شد و بعد از وزن کردن، خاک به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت تا خشک شود. با کم کردن وزن خاک خشک (پس از قرار دادن درآون) از وزن خاک مرطوب (قبل از قرار دادن در آون)، رطوبت خاک به‌دست آمد (Alizadeh, 2001). زمانی که میانگین رطوبت خاک در نقاط اندازه‌گیری شده به کمتر از ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس رسید، آبیاری کرت‌ها انجام شد و رطوبت زمین در عمق ۶۰ ـ۰ سانتی‌متری به ظرفیت مزرعه رسانده شد (Barati & Ghadiri, 2016).

برای آبیاری کرت‌ها مقدار آب مورد نیاز از طریق معادله۱ محاسبه و مقدار آب استفاده شده برای هر کرت از روش حجمی ـ زمانی (Grimes *et al*., 1987) اندازه‌گیری شد. زمان

مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها با توجه بـه دبـی آب خروجـی از لوله‌های تعبیه شده برای آبیاری بـه‌دسـت آمـد. در کـرت‌هـای مربوط به تیمار تنش آبی، آبیاری تـا انتهـای مرحلـه‌ی گلـدهی انجام شد.

معادله(۱) $D = \sum_{i=1}^{n} (\theta_{fci} - \theta_i)\, \Delta Z_i$

در معادله‌ی بالا، D: عمق آب آبیاری (میلـی‌متـر)، i: یـک لایه، n: تعداد لایه‌های خـاک، θ_{fci}: محتـوای حجمـی رطوبـت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (سانتی متر مکعب بر سانتی متـر مکعب)، θ_i: محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی متـر مکعـب بر سانتی متر مکعب) در i امین لایه خـاک، ΔZ_i: ضـخامت هـر لایه (میلی‌متر).

در تاریخ ۱۴خرداد، پس‌از مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک، به‌منظور تعیین عملکرد دانه از وسط هر کرت دو ردیف به طول ۲ متر از سطح خاک بریده شد (۵۰ سانتی‌متر ابتدا و انتهای هر ردیف و همچنین دو ردیف کناری هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه-ای در نظر گرفته شد). لازم به ذکر است که به منظـور یکسـان بـودن سـطح برداشـت در کشـت مخلـوط و خـالص، مسـاحتی مساوی در شرایط کشت خالص و مخلوط برداشـت شـد. نمونـه برداری جهت تعیین اجـزای عملکـرد از پـنج بوتـه در قسـمت مرکزی کرت‌ها انجام شد. پس از برداشت، صفات تعـداد غـلاف در بوتـه، تعـداد دانـه در غـلاف، میـانگین وزن دانـه، عملکـرد زیست‌توده اندازه‌گیری و شاخص برداشت نخـود محاسـبه شـد (معادله۲). مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از طریق نسبت برابری زمین با استفاده ازمعادله۳ و ۴ برای نخـود و کـل کشت مخلوط محاسبه شد (Mohavieh Asadi *et al*., 2019).

معادله (۲) $HI = \left(\frac{GY}{BY}\right) \times 100$

در این معادله، HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانـه و BY: عملکرد زیست‌توده است.

معادله (۳)

$$LER_{chickpea} = \left(\frac{Yct}{Ycc}\right) \quad LER_{triticale} = \left(\frac{Ytc}{Ytt}\right)$$

معادله (۴)

$$LER_{total} = LER_{triticale} + LER_{chickpea}$$

در این معادلات، $LER_{chickpea}$: نسبت برابری زمین نخـود، $LER_{triticale}$: نسبت برابری زمـین تریتیکالـه، LER_{total}: نسـبت برابری زمین کل، Y_{tc}: عملکرد تریتیکاله در کشت مخلوط، Y_{tt}: عملکرد تریتیکاله در کشت خالص، Y_{ct}: عملکرد نخود در کشت مخلوط و Y_{cc}: عملکرد نخود در کشت خالص می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌هـا بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار SAS 9.1 انجام شد. میانگین‌هـا بـا اسـتفاده از آزمـون کمتـرین اخـتلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

جدول ۲ میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت بر عملکرد دانـه نخـود در سـطح احتمـال یـک درصـد معنـی‌دار بـود (جـدول۲). در شـرایط آبیـاری مطلـوب، تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، امـا بیشـترین عملکـرد نخـود در تیمـار تـک کشـتی (۳۲۶۷ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمـد (جـدول۳). در مقابـل، نخود در شرایط تنش آبی نسبت بـه آبیـاری مطلـوب رطـوبتی رفتار متفاوتی را نشان داد، به این صـورت کـه بـین تیمارهـای کشت خالص و کشت مخلوط، تفاوت معنی‌داری وجـود داشـت. در تیمار تنش آبی، بیشترین عملکرد نخود (۲۴۱۶ کیلوگرم بـر هکتار) در تیمار کشت مخلوط به‌دست آمد که به‌طور معنـی‌دار و به میزان ۶۶ درصد بیشتر از عملکرد نخود در شـرایط کشـت خالص بود (جدول۳). بررسی این برهمکنش از منظـری دیگـر، نشان داد کـه تـنش آبـی منجـر بـه کـاهش ۵۵ و۲۴ درصـدی عملکرد دانه نخود نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی به‌ترتیب در تیمارهای کشت خالص و مخلوط شد (جدول۳) که این موضوع برتری کشت مخلوط نخـود را نسـبت بـه کشـت خـالص آن در شرایط تنش آبی نشان می‌دهد. در شـرایط کشـت خـالص، بـه دلیل قرارگرفتن ریشه‌هـا در عمـق یکسـانی از پروفایـل خـاک، رقابت بر سر آب و مواد غذایی موجود در خـاک شـدید بـوده و کاهش بیشتر عملکرد در شرایط تنش را سـبب مـی شـود. امـا، زمانی که به صورت مخلوط با تریتیکاله کشت می‌شود، به دلیل عمق متفاوت سیستم ریشه‌ای غلات و حبوبات، گیاهان از آب و عناصر غذایی خاک به‌طور کارآمدتری استفاده می‌کنند، تـنش-های محیطی از جملـه تـنش آبـی را بهتـر تحمـل کـرده و بـه عملکرد بهتری دست پیدا می‌کنند (Mazaheri, 1997).

جدول۲- تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، الگوی کاشت و سامانه کودی بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه نخو.

Table 2. Analysis of variance for the effect of irrigation regime, cropping system and fertilizer system on pod No. plant^{-1}, grain No. pod^{-1}, grain weight, biological yield, harvest index and grain yield of chickpea

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات Mean of squares					
		غلاف در بوته	دانه در غلاف	وزن دانه	عملکرد زیست‌توده	شاخص برداشت	عملکرد دانه
S.O.V	df	Pod No. plant^{-1}	Grain No. pod^{-1}	Grain weight	Biological yield	Harvest index	Grain yield
تکرار Replication	2	91.79**	0.15**	20.42ns	632400.41ns	26.22ns	16774ns
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)	1	534.91*	0.49ns	4540.51*	29981265.81*	919.10ns	1505520*
خطای (الف) Error (a)	2	14.45	0.02	122.13	743992.71	61.00	247458
الگوی کاشت Cropping system (Cs)	1	88.89*	0.07ns	180.9ns	500674.17ns	378.30**	1764912**
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)	2	19.63ns	0.31**	1636.3**	2868324.83**	1061.30**	5315787**
Ir × Cs	1	151.16**	0.00002ns	265.14ns	2864274.17**	294.12**	2404050**
Ir × Fs	2	7.06ns	0.14**	636.04**	690479.03ns	259.84**	758100**
Cs × Fs	2	23.87ns	0.03ns	320.41*	1288717.09*	62.81**	1044909**
Ir × Cs × Fs	2	23.87ns	0.0004ns	18.97ns	202426.94ns	1.21ns	14493ns
خطای (ب) Error (b)	20	13.86	0.01	75.16	238852.82	8.57	29690
ضریب تغییرات (درصد) CV€ (%)		14.21	11.63	4.14	8.42	6.82	6.67

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌داری، €: ضریب تغییرات

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. ns: Non significant; €: Coefficient of variation

جدول۳- اثر برهمکنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت بر تعداد غلاف در بوته، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه نخود

Table 3. Effects of **Ir × Cs** interaction on **pod No. plant^{-1}**, biological yield, harvest index and grain yield of chickpea

Ir × Cs		تعداد غلاف در بوته Pod No. plant^{-1}	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg ha^{-1})
مطلوب Normal	کشت خالص Sole cropping	*30.5a	6872a	47.6a	3266a
	کشت مخلوط Intercropping	29.5ab	6543a	48.3a	3193a
تنش آبی Water stress	کشت خالص Sole cropping	18.7c	4504c	31.8c	1456c
	کشت مخلوط Intercropping	25.9b	5304b	44.0b	2416b

*میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD)، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه کودی بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). در هر دو رژیم آبیاری، نخود رفتار مشابهی را در تیمارهای کودی نشان داد. در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین عملکرد دانه نخود در تیمار کود تلفیقی به‌میزان (۳۵۴۴ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار زیستی نداشت (جدول۴). در شرایط تنش آبی بیشترین عملکرد دانه نخود در تیمار زیستی (۲۴۷۷ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تلفیقی نشان نداد (جدول۴). همچنین، بررسی بیشتر این برهمکنش نشان داد که تنش آبی منجر به کاهش ۶۸، ۳۱ و ۲۷ درصدی عملکرد نخود به‌ترتیب در تیمارهای شیمیایی، تلفیقی و زیستی شد (جدول۴).

جدول۴- اثربرهمکنش رژیم آبیاری × سامانه کودی بر تعداد دانه در غلاف، وزن دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه نخود

Table 4. Effects of Ir × Fs interaction on grain No. pod^{-1}, grain weight, biological yield, harvest index and grain yield of chickpea

Ir × Fs		تعداد دانه در غلاف Grain No. pod^{-1}	وزن دانه (میلی‌گرم) Grain weight (mg)	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg ha^{-1})
مطلوب Normal	شیمیایی £ Chemical	*1.20^{a}	215.5^{b}	6435^{a}	42.5^{c}	2748^{b}
	تلفیقی ££ Integrated	1.30^{a}	222.8^{a}	6999^{a}	50.7^{a}	3543^{a}
	زیستی ¥ Organic	1.29^{a}	223.4^{a}	6689^{a}	50.8^{a}	3397^{a}
تنش آبی Water stress	شیمیایی £ Chemical	0.71^{b}	176.3^{d}	4083^{c}	21.7^{d}	882^{d}
	تلفیقی ££ Integrated	1.19^{a}	209.6^{c}	5402^{b}	44.9^{bc}	2449^{c}
	زیستی ¥ Organic	1.18^{a}	208.6^{c}	5227^{b}	47.1^{b}	2477^{c}

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD)، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. £: کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن برهکتار)، ££: کود تلفیقی (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و ۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)، ¥: کود زیستی (۴۰ تن بر هکتار کود گوسفندی، تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using LSD test. £: Chemical (50 kg P ha^{-1} and 150 kg N ha^{-1}), ££: Integrated (25 kg P ha^{-1}, 75 kg N ha^{-1} and 20 tons ha^{-1} of sheep manure + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*), ¥: Organic (40 tons ha^{-1} of sheep manure + inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*)

با توجه به این‌که کمترین کاهش عملکرد نخود ۲۷ درصد در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب، در تیمار کود زیستی مشاهده شد، می‌توان نتیجه گرفت که حضور باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد در تیمار زیستی، سبب تحریک رشد ریشه‌ها و بنابراین جذب بیشتر آب در شرایط تنش آبی و کاهش پیامدهای مخرب تنش آبی از جمله محدودیت عملکرد دانه شده است. از طرفی وجود کود دامی در تیمار زیستی به واسطه ایجاد تخلل بیشتر و در نتیجه ایجاد شرایط هوازی برای فعالیت این باکتری‌ها و همچنین به‌عنوان منبع کربوهیدرات برای آنها سبب افزایش اثرات مثبت باکتری‌ها در رشد ریشه‌ها شده است. علاوه بر این، کود دامی به‌عنوان ماده آلی سبب افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک شده و اثرات تنش آبی را برای گیاه و باکتری‌ها کاهش می‌دهد (Singh *et al*., 2011).

برهم‌کنش الگوی‌کشت × سامانه‌کودی بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول۲). این برهم‌کنش نشان داد، در کشت خالص اگرچه عملکرد دانه نخود در سامانه‌های کود تلفیقی و زیستی (به‌ترتیب ۲۵۷۲ و ۲۵۸۱ کیلوگرم بر هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول۵) اما، بطور معنی‌دار و به میزان ۲۵ درصد، عملکرد دانه نخود را نسبت به تیمار کود شیمیایی افزودند. روندی مشابه کشت خالص، در شرایط کشت مخلوط نیز مشاهده شد. در تیمار کشت مخلوط، بیشترین عملکرد دانه نخود در سامانه کودی تلفیقی(۳۴۲۰ کیلوگرم برهکتار) به‌دست آمد. این در حالی بود که با عملکرد نخود در تیمار زیستی (۳۲۹۴ کیلوگرم بر هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. اما، تیمار تلفیقی و زیستی عملکرد دانه نخود را نسبت به تیمار کود شیمیایی به‌طور معنی‌دار و به ترتیب به میزان ۵۰ و ۴۸/۵ درصد افزایش دادند (جدول۵). کاهش بیشتر عملکرد دانه بواسطه‌ی کود شیمیایی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را می‌توان به استفاده بیشتر از کود نیتروژن توسط گیاه تریتیکاله و برتری آن نسبت به گیاه نخود نسبت داد.

گیاه نخود، همزیست با باکتری رایزوبیوم (*Rhizobium*) است و در شرایطی که این باکتری در خاک حضور داشته باشند، نیاز این گیاه به کود نیتروژن به مقدار زیادی برطرف می‌شود و تنها به مقدار کمی کود نیتروژن در ابتدای فصل رشد و قبل از تشکیل گره‌های تثبیت کننده نیتروژن نیاز دارد. نخود در هر فصل رشد می‌تواند تا ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را تثبیت کند، اگرچه در اکثر موارد، بین ۲۰ تا ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار گزارش شده است (Rupela & Saxena, 1987; Herridge *et al*., 1995; Marcellos *et al*., 1998; Pilbeam *et al*., 1998; Carranca *et al*., 1999; Kumar & Abbo, 2001). بنابراین، استفاده از تیمار تلفیقی (کود

شیمیایی و کود دامی به اندازه نصف نیاز گیاه + تلقیح با باکتری) و زیستی (کود دامی+ تلقیح با باکتری) در شرایط کشت خالص و مخلوط می‌تواند عناصر مورد نیاز از جمله نیتروژن و فسفر را به‌طور آهسته و در تمام طول فصل رشد در اختیار گیاه نخود قرار دهد (Barker, 2016).

جدول۵ - اثر برهمکنش الگوی کاشت × سامانه کودی بر وزن دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه نخود

Table 5. Effect of Cs × Fs interaction on grain weight, biological yield, harvest index and grain yield of chickpea

Cs × Fs		وزن دانه (میلی‌گرم) Grain weight (mg)	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg ha^{-1})
کشت خالص Sole cropping	شیمیایی£ Chemical	199.7^{d}	5502^{cd}	31.5^{c}	1932^{c}
	تلفیقی££ Integrated	211.0^{bc}	5804^{bc}	43.4^{b}	2572^{b}
	زیستی¥ Organic	210.8^{c}	5758^{bc}	44.2^{b}	2581^{b}
کشت مخلوط Inter cropping	شیمیایی£ Chemical	192.2^{d}	5016^{d}	32.7^{c}	1698^{d}
	تلفیقی££ Integrated	221.5^{a}	6597^{a}	52.2^{a}	3420^{a}
	زیستی¥ Organic	221.3^{ab}	6158^{ab}	53.7^{a}	3294^{a}

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD)، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. £: کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن برهکتار) ، ££: کود تلفیقی (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*) ، ¥: کود زیستی (۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار ، تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using LSD test. £: Chemical (50 kg P ha^{-1} and 150 kg N ha^{-1}), ££: Integrated (25 kg P ha^{-1}, 75 kg N ha^{-1} and 20 tons ha^{-1} of sheep manure + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*), ¥: Organic (40 tons sheep manure ha^{-1} + inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*)

این در حالی است که استفاده از سطوح بالای کود شیمیایی نیتروژن، علاوه بر اینکه مانع از تشکیل گره‌های تثبیت کننده نیتروژن می‌شود (Mazaheri, 1998)، تغذیه متعادلی از عناصر غذایی را برای گیاه فراهم نمی‌آورد. رضایی چیانه و همکاران (Rezaei chiyaneh *et al.*, 2019) نیز در پژوهشی بر روی کشت مخلوط نخود و جو نشان دادند، بیشترین عملکرد دانه نخود در کشت خالص و مخلوط در تیمارهای کودی تلفیقی (شیمیایی + زیستی) به‌دست آمد که بیشتر از عملکرد دانه‌ی حاصل از کاربرد کود شیمیایی به صورت کامل بود. براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش سعیدی و همکاران (Saeidi *et al.*, 2018) نیز، کاربرد تلفیقی (کود زیستی به‌همراه۶۰ درصد کود شیمیایی (اوره + سوپرفسفات تریپل) در کشت مخلوط گلرنگ و باقلا، عملکرد هر دو گیاه افزایش یافت.

تعداد غلاف در بوته

برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد بر تعداد غلاف در بوته نخود معنی‌دار شد (جدول۲). تنش آبی منجر به کاهش ۳۹ درصدی تعداد غلاف در بوته نخود در کشت خالص و کاهش ۱۳ درصدی در کشت مخلوط نخود، نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول۳). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین تعداد غلاف در بوته در کشت خالص (۳۰/۵ عدد) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تعداد غلاف در بوته در کشت مخلوط نداشت. در مقابل، در شرایط تنش آبی بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار کشت مخلوط (۲۶ عدد) مشاهده شد که بطور معنی‌دار و به میزان ۳۷ درصد بیشتر از تعداد غلاف در کشت خالص آن (۱۹ عدد) بود (جدول۳).

در پژوهش احمدوند و حاجی نیا (Ahmadvand & Hajinia, 2015) تعداد غلاف در بوته‌ی سویا در کشت مخلوط با ارزن نسبت به کشت خالص سویا ۹/۸ درصد افزایش نشان داد که آنها دلیل آنرا سطح بالای رقابت درون گونه‌ای در شرایط کشت خالص و کاهش رقابت بین گونه‌ای در شرایط کشت مخلوط گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد که فضای مناسب و سایه‌انداز غیریکنواخت در کشت مخلوط نسبت به خالص، سبب استفاده بهینه از عوامل محیطی توسط گیاهان شده و افزایش تعداد غلاف در بوته نخود در کشت مخلوط را به همراه داشته است (Ahmadvand & Hajinia, 2015).

رقابت درون گونه‌ای در کشت خالص نخود، بیشتر از رقابت بین گونه‌ای غلات و حبوبات در شرایط کشت مخلوط است (Bedoussac & Justes, 2011). از جمله عواملی که می‌توانند در افزایش رقابت درون گونه‌ای بوته‌های نخود موثر باشند، قرار گرفتن ریشه‌ها در عمق یکسان است، که باعث می‌شود گیاهان آب و مواد غذایی موجود در نیم‌رخ یکسانی از خاک را به‌طور یکنواخت استفاده کرده و با کمبود آب و مواد غذایی به ویژه در دوره تنش آبی روبه‌رو شوند، که این موضوع ریزش گل‌ها و در نهایت کاهش تعداد غلاف در بوته را نیز به دنبال خواهد داشت. در مقابل، زمانی که تریتیکاله و نخود به صورت مخلوط در کنار هم کاشته شوند، نخود به دلیل داشتن ریشه‌های عمیق‌تر نسبت به تریتیکاله، از آب موجود در لایه‌های زیرین نیم‌رخ خاک استفاده می‌کند و بنابراین، رقابت کمتری برای آب موجود در لایه‌های سطحی نیم‌رخ خاک با تریتیکاله رخ می‌دهد و کمتر به اثرات منفی تنش آبی دچار می‌شود (Mazaheri, 1998).

تعداد دانه در غلاف

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در غلاف نخود معنی‌دار بود (جدول۲). تنش آبی منجر به کاهش ۹، ۹ و ۴۱ درصدی تعداد دانه در غلاف نسبت به آبیاری مطلوب، به‌ترتیب در سامانه‌های کودی زیستی، تلفیقی و شیمیایی شد. بیشترین تعداد دانه در غلاف نخود، در شرایط آبیاری مطلوب و سامانه‌های کود تلفیقی (۱/۳) و کمترین مقدار آن، در شرایط تنش آبی با کاربرد کود شیمیایی (۰/۷۱) مشاهده شد (جدول۴). در یکی از پژوهش‌های اخیر نیز بیشترین تعداد دانه درغلاف نخود فرنگی، در تیمار تلقیق کودهای زیستی (*ازتوباکتر+آزوسپیریلوم+مایکوریزا*) و تیمار آبیاری مطلوب به‌دست آمد (Ghasembagloo *et al.*, 2021). در آزمایش حاضر، کاهش کمتر تعداد دانه در غلاف در تیمارهای زیستی و تلفیقی نسبت به تیمار کود شیمیایی بواسطه تنش آبی را می‌توان به حضور باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* در تیمار زیستی و تلفیقی و همچنین کود دامی به عنوان ماده آلی نسبت داد.

به نظر می‌رسد که این باکتری‌ها با تولید هورمون‌های رشد سبب افزایش توسعه‌ی ریشه می‌شوند (Wallace *et al.*, 2017) و بنابراین با جذب بیشتر آب، اثرات منفی ناشی از تنش آبی کاهش یافته و جذب عناصر غذایی نیز بیشتر می‌شود. در چنین شرایطی، دوام کلروفیل و سطح برگ به‌دلیل تداوم جذب آب و نیتروژن افزایش یافته و فتوسنتز بیشتر می‌شود. افزایش مواد پرورده در حین گلدهی باعث باروری بیشتر تخمک‌ها و در نتیجه افزایش تعداد دانه در غلاف خواهد شد. همچنین، تداوم جذب آب و عناصر غذایی در دوره پر شدن دانه بواسطه‌ی فراهمی بیشتر مواد پرورده سبب کاهش سقط جنین و نهایتا افزایش میانگین تعداد دانه در غلاف خواهد شد. حضور مواد آلی در این تیمارها نیز سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده و به کاهش شدت تنش و افزایش فتوسنتز گیاه کمک خواهد کرد. از طرفی مواد آلی موجود در کود دامی به عنوان ماده غذایی برای باکتری‌ها بوده و سبب افزایش فعالیت آنها می‌شود (Barker, 2016).

وزن دانه

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر وزن دانه نخود معنی‌دار شد (جدول۲). بیشترین وزن دانه (۲۲۳/۴ میلی‌گرم) در شرایط آبیاری مطلوب و سامانه‌های کودی زیستی بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با کود تلفیقی نداشت و کمترین مقدار آن (۱۷۶/۳ میلی‌گرم) در تیمار تنش آبی و کاربرد کود شیمیایی به‌دست آمد (جدول۴). تنش آبی وزن دانه نخود را به میزان ۶، ۶ و ۱۸ درصد به‌ترتیب در سامانه‌های کودی زیستی، تلفیقی و شیمیایی، نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد (جدول۴). در پژوهش خالق‌نژاد و جباری (Khalegh nezhad & Jabari, 2015) بیشترین وزن دانه نخود در شرایط آبیاری مطلوب در تیمار کود ریزوبیومی (*Mesorhizobiumciceri*)(SWRI-17) مشاهده شد. میرزایی و همکاران (Mirzaei *et al.*, 2018) نیز بیشترین وزن دانه نخود را در تیمار تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم* به‌دست آوردند. در آزمایش حاضر، کاهش کمتر وزن دانه به واسطه‌ی تنش آبی در شرایط کود زیستی و تلفیقی (۶ و ۶ درصد) نسبت به کاربرد کود شیمیایی (۱۸ درصد) را می‌توان به تحریک رشد ریشه‌ها توسط باکتری‌های محرک رشد و بنابراین، کاهش سطح تنش به واسطه‌ی افزایش جذب آب و مواد غذایی و همچنین به توانایی بیشتر تثبیت نیتروژن اتمسفری، نسبت داد (Rezaei chiyaneh *et al.*, 2015). همچنین، در کنار اثرات مثبت باکتری‌ها، حضور بیشتر آب در خاک بواسطه‌ی مواد آلی سبب افزایش دوام سطح برگ، ظرفیت فتوسنتزی و انتقال مجدد مواد پرورده در دوره‌ی پر شدن دانه شده و افزایش وزن دانه را سبب شده است. جهان و همکاران (Jahan *et al.*, 2013) نیز در مطالعه‌ای بر روی گیاه کنجد مشاهده کردند که کاربرد کود زیستی در شرایط تنش آبی سبب افزایش رشد ریشه و جذب آب و بنابراین افزایش سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی در مراحل قبل از گلدهی شد. همچنین، آنها دریافتند که کاربرد

کودهای زیستی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به سمت دانه‌ها را در مرحله پس از گلدهی افزود و نهایتا وزن دانه افزایش یافت.

برهم‌کنش الگوی کاشت × سامانه کودی بر وزن دانه نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول۲). کشت مخلوط نخود منجر به کاهش ۳/۸ درصدی وزن دانه در سامانه کودی شیمیایی نسبت به کشت خالص آن شد. اما در سامانه‌های کودی زیستی و تلفیقی افزایش ۵ درصدی وزن دانه، در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص مشاهده شد (جدول۵). بیشترین مقدار وزن دانه در کشت مخلوط نخود و سامانه‌های تلفیقی (۲۲۱ میلی‌گرم) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سامانه کود زیستی نداشت و کمترین مقدار آن (۱۹۲ میلی‌گرم) در کشت مخلوط نخود و کاربرد کود شیمیایی به‌دست آمد (جدول۵).

افزایش وزن دانه نخود با کاربرد سامانه‌های تلفیقی و زیستی و کاهش آن با کود شیمیایی در کشت مخلوط نسبت به خالص را می‌توان با افزایش درصد جذب نور توسط نخود مخلوط در شرایط کاربرد کود زیستی و تلفیقی و کاهش میزان دریافت نور با کاربرد کود شیمیایی در ارتباط دانست. زیرا، کاربرد کود شیمیایی در شرایط کشت مخلوط سبب برتری رقابتی غلات از جمله تریتیکاله خواهد شد و در این شرایط بوته‌های نخود به دلیل سایه اندازی بوته‌های تریتیکاله فتوسنتز کمتری انجام داده و وزن دانه‌ها نسبت به کشت خالص کاهش می‌یابند. اما، در تیمارهای زیستی و تلفیقی به دلیل دسترسی آهسته‌تر به نیتروژن، تولید زیست‌توده تریتیکاله محدود می‌شود و به دنبال آن رقابت بوته‌های نخود با تریتیکاله بر سر منابع به ویژه نور کمتر از کشت خالص نخود شده و با افزایش مقدار فتوسنتز نخود ، وزن دانه‌های آن افزایش می‌یابند. مطابق با نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر، نیک سیرت و همکاران (Niksirat *et al*., 2018) بیشترین وزن دانه نخود را در تیمار کشت مخلوط با جو به‌دست آوردند. رضایی چیانه و همکاران (Rezaei chiyaneh *et al*., 2019) گزارش کردند که بیشترین وزن دانه نخود در تیمارهای کود زیستی و تلفیقی حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. سالاری و همکاران (Salari *et al*., 2020) نیز بیشترین وزن دانه نخود را در تیمار کود زیستی و کشت مخلوط با گلرنگ به‌دست آوردند.

عملکرد زیست‌توده

برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد زیست‌توده نخود معنی‌دار بود (جدول۲). تنش آبی باعث کاهش ۳۵ و ۱۹ درصدی عملکرد زیست‌توده نخود، به‌ترتیب در کشت خالص و کشت مخلوط نسبت به آبیاری مطلوب شد. در تیمار آبیاری مطلوب، بیشترین عملکرد زیست‌توده نخود، در کشت خالص (۶۸۷۲ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد، در حالی که با عملکرد زیست‌توده نخود در کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول۳). این برتری جزئی کشت خالص نسبت به مخلوط را می‌توان به بیشتر بودن رقابت بین گونه‌ای بوته‌های نخود و تریتیکاله نسبت به رقابت درون گونه‌ای بوته‌های نخود بر سر نور نسبت داد. همچنین، کمترین مقدار عملکرد زیست‌توده درکشت خالص نخود (۴۵۰۸ کیلوگرم بر هکتار) در شرایط تنش آبی مشاهده شد (جدول۳).

در تایید این نتیجه از آزمایش حاضر، اسکندری و کاظمی (Eskandari & Kazemi, 2020) مشاهده کردند که در کشت مخلوط باقلا/ گندم، بیشترین عملکرد زیست‌توده باقلا در تیمار کشت مخلوط با آبیاری مطلوب و کمترین عملکرد زیست‌توده باقلا در تیمار کشت خالص تحت تنش آبی به‌دست آمد. در آزمایش حاضر، کاهش کمتر عملکرد زیست‌توده بواسطه تنش آبی در شرایط کشت مخلوط (۱۹ درصد) در مقایسه با کشت خالص (۳۵ درصد) را می‌توان به تفاوت عمق ریشه‌ها در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص نسبت داد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گرفت، با اینکه نخود در کشت مخلوط با تریتیکاله، رقابت‌کننده ضعیف‌تری است (Monti *et al*., 2016). به علت وجود سیستم ریشه‌ای متفاوت نخود و تریتیکاله، رقابت کمتری بر سر آب و احتمالا عناصر غذایی در پروفایل خاک در شرایط کشت مخلوط رخ داده است. به همین دلیل بوته‌های نخود در شرایط تنش آبی در کشت مخلوط کمتر با اثرات محدود کننده کمبود آب روبرو شده و توانسته‌اند به مدت طولانی‌تری دوام سطح برگ خود را حفظ و به فتوسنتز ادامه دهند و سبب افزایش عملکرد زیست‌توده نسبت به کشت خالص شوند.

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه کودی بر عملکرد زیست‌توده نخود معنی‌دار شد ($P \leq 0.0789$) (جدول۲). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین عملکرد زیست‌توده نخود، در سامانه‌های کود تلفیقی (۶۹۹۹ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد که با سامانه کود زیستی و شیمیایی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول۴). در تیمار تنش آبی، بیشترین عملکرد زیست‌توده در سامانه کودی تلفیقی (۵۴۰۲ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد که با تیمار کود زیستی تفاوت معنی داری نداشت، اما به‌طور معنی‌داری بیشتر از عملکرد زیست‌توده در شرایط استفاده از سامانه کود شیمیایی بود (جدول۴).

در پژوهش خالق‌نژاد و جباری (Khalegh nezhad & Jabari, 2015) بیشترین عملکرد زیست‌توده نخود در تیمار ترکیب کودهای زیستی ریزوبیومی (PGPR+ SWRI-3 +

SWRI-17) تحت آبیاری مطلوب، مشاهده شد و کمترین مقدار نیز، در تیمار کود شیمیایی نیتروژن تحت تنش آبی به‌دست آمد. برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که باکتری *آزوسپیریلوم* از طریق افزایش رشد ریشه و تعداد گره‌های تثبیت کننده نیتروژن (Hamaoui *et al*., 2001) باعث افزایش تولید زیست‌توده شده و به بهتر شدن روابط آبی و کاهش تلفات آب کمک می‌کند (Sandhya *et al*., 2010). رضایی چیانه و همکاران (Rezaei chianeh *et al*., 2015) نیز نشان دادند که تاثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر قابل دسترس ساختن و افزایش جذب عناصر غذایی، توانسته سبب افزایش عملکرد زیست‌توده در تیمارهای کود زیستی و تلفیقی گردد.

در آزمایش حاضر، تنش آبی منجر به کاهش ۲۲، ۲۳ و۳۷ درصدی عملکرد زیست‌توده نخود در سامانه‌های کودی زیستی، تلفیقی و شیمیایی نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول۴). با توجه به اینکه کمترین درصد کاهش عملکرد زیست‌توده نخود در شرایط تنش آبی، در سامانه های کود تلفیقی و زیستی مشاهده شد، می‌توان نتیجه گرفت که باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* در این سامانه‌ها سبب کاهش اثرات منفی تنش آبی شدند و اثرات مثبت آنها در کنار افزایش قابلیت نگهداری بیشتر آب با کاربرد کود دامی در این تیمارها سبب کاهش کمتر عملکرد زیست‌توده نخود در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب شد.

برهم‌کنش الگوی کاشت × سامانه کودی بر عملکرد زیست‌توده نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). بیشترین عملکرد زیست‌توده نخود، در تیمار کشت مخلوط با کاربرد کود تلفیقی (۶۵۹۷ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد (جدول۵). در همین راستا، نتایج به‌دست آمده از پژوهشی (Bechtaoui *et al*., 2019) نشان داد که تلقیح بذر با باکتری‌های (*Rahnella aquatilis* + *Pseudomonas* sp.) PGPR و کشت مخلوط گندم/ باقلا منجر به بهبود زیست‌توده گیاهی در مقایسه با سایر تیمارهای کشت شده و شاهد شد.

در پژوهشی بر روی کشت مخلوط نخود/ جو بیشترین عملکرد زیست‌توده نخود در تیمار کود تلفیقی (۵۰ درصد کود شیمیایی NP+کود زیستی ازتو بارور۱ و فسفاته بارور۲) به‌دست آمد (Rezaei chiyaneh *et al*., 2019). کاربرد توام کودهای آلی و زیستی (مانند شرایط آزمایش حاضر) نسبت به مصرف جداگانه آنها، به دلیل تامین متعادل عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های خاک، شرایط را برای افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، فراهم کرده و می‌تواند سبب افزایش عملکرد زیست‌توده نسبت به کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر شود (Zaidi *et al*., 2003). در آزمایش حاضر، عملکرد زیست‌توده نخود در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در شرایط کود شیمیایی کاهش (۸/۸ درصد) یافت. اما، با کاربرد کود زیستی و تلفیقی به ترتیب به مقدار ۶/۹ و ۱۳/۷ درصد افزایش یافت (جدول۵). این کاهش بیشتر عملکرد زیست‌توده در تیمار کود شیمیایی نسبت به تلفیقی و زیستی در شرایط کشت مخلوط نسب به خالص را می‌توان به افزایش رقابت بین گونه‌ای در کشت مخلوط با تریتیکاله و غالبیت این گیاه بر نخود نسبت داد. زیرا، همانطور که سایر پژوهشگران (Fujita *et al*., 1992) نیز مشاهده کرده‌اند، در اثر کاربرد مقادیر بالای کود نیتروژن رشد رویشی تریتیکاله افزایش بیشتری پیدا کرده و سایه اندازی تریتیکاله بر روی نخود، منجر به کاهش فتوسنتز و بنابراین کاهش تثبیت نیتروژن و در نهایت رشد رویشی نخود شده، عملکرد زیست‌توده نخود را کاهش داده است. در مقابل، در شرایط استفاده از کود زیستی و تلفیقی به علت دسترسی آهسته‌تر تریتیکاله به نیتروژن، این گیاه برتری رقابتی خود را از دست داده است و بنابراین عملکرد زیست‌توده نخود نسبت به کشت خالص افزایش یافته است.

شاخص برداشت

برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت نخود معنی‌دار شد (جدول۲). در شرایط تنش آبی، شاخص برداشت نخود در تیمار کشت خالص و کشت مخلوط نسبت به شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب به مقدار ۳۳ و ۹درصد کاهش پیدا کرد (جدول۳). کاهش کمتر شاخص برداشت بواسطه تنش آبی در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را می‌توان به کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای بر سر منابع محدود کننده‌ی اساسی مانند آب نسبت داد. به نظر می‌رسد، اشغال عمیق‌تر پروفایل خاک توسط ریشه‌های نخود نسبت به عمق کمتر و سطحی ریشه‌های تریتیکاله سبب جذب آب از لایه‌های متفاوتی از خاک شده و میزان رقابت نسبت به کشت خالص کاهش یافته است. دسترسی بیشتر به آب در طول دوره پر شدن دانه سبب افزایش دوام سطح برگ و میزان فتوسنتز شده و وزن دانه و در نهایت شاخص برداشت را افزایش می‌دهد.

در همین راستا، یافته‌های نیک سیرت و همکاران (Niksirat *et al*., 2018) نیز در مورد کشت مخلوط نخود/ جو و باقلا/ جو، نتایج آزمایش حاضر را تایید می‌کند. در آزمایش حاضر، در شرایط مطلوب، بیشترین شاخص برداشت (۴۸/۴ درصد) در کشت مخلوط نخود بدست آمد که با شرایط کشت خالص تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش آبی نیز بیشترین شاخص برداشت (۳۱/۸ درصد) در کشت مخلوط به

دست آمد که به طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص بود (جدول۳). همچنین، احمدوند و حاجی نیا (Ahmadvand & Hajinia, 2015) نیز استدلال کردند که در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود به صورت ردیفی، به‌دلیل عدم استقرار گیاهان مشابه در ردیف‌های مجاور، کمترین رقابت درون گونه‌ای بوجود می‌آید. در صورتی که رقابت برای استفاده از منابع محیطی زیاد باشد، شاخص برداشت کاهش پیدا می‌کند. زیرا، گیاه انرژی تثبیت شده خود را صرف تولید اندام‌های رویشی برای بر طرف کردن اثر رقابتی کرده و در نتیجه انرژی کمتری به تولید بخش اقتصادی گیاه اختصاص داده می‌شود (Abbasi, 2006).

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت نخود معنی‌دار شد (جدول۲). بیشترین میزان شاخص برداشت در شرایط آبیاری مطلوب و با استفاده از کود زیستی (۵۰/۸ درصد) به‌دست آمد که با سامانه کودی تلفیقی (۵۰/۷ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن (۲۱/۷ درصد) در شرایط تنش آبی و استفاده از کود شیمیایی حاصل شد (جدول۴). قاسم بگلو و همکاران (Ghasembagloo *et al*., 2021) بیشترین شاخص برداشت نخود فرنگی را در تیمار کود زیستی (*ازتوباکتر+آزوسپیریلوم+مایکوریزا*) تحت آبیاری مطلوب مشاهده کردند. میرزایی و همکاران (Mirzaei *et al*., 2018) نیز بیشترین شاخص برداشت نخود را در تیمار کود تلفیقی (*باکتری آزوسپیریلوم* + ۱۰کیلوگرم کود نیتروژن) گزارش کردند. در پژوهش دیگری (Neugschwandtner & Kaul, 2014)، کمترین شاخص برداشت نخود با کاربرد کود نیتروژن به‌دست آمد. در آزمایش حاضر، تنش آبی منجر به کاهش ۱۱،۷ و ۴۹ درصدی شاخص برداشت به ترتیب در سامانه‌های کودی زیستی، تلفیقی و شیمیایی نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول۴). خالق‌نژاد و جباری (Khalegh nezhad & Jabari, 2015) نیز کمترین کاهش عملکرد نخود در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب را در تیمار کود زیستی (PGPR+ SWRI-3 + SWRI-17) مشاهده کردند.

کاهش کمتر شاخص برداشت در شرایط استفاده از سامانه‌های زیستی و تلفیقی در مطالعه‌ی حاضر را می‌توان به اثرات مطلوب باکتری‌های محرک رشد و وجود مواد آلی در این دو سامانه مربوط دانست. تحریک رشد بیشتر ریشه بوسیله‌ی باکتری‌های محرک رشد (Macik *et al*., 2020) و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک بواسطه‌ی حضور مواد آلی (Risse *et al*., 2006) در این دو تیمار سبب دسترسی بیشتر بوته‌ها به آب در شرایط تنش آبی شده است. این امر طول دوره پر شدن دانه‌ها را افزایش داده و از اینرو مقدار فتوسنتز و انتقال مجدد مواد پرورده را افزوده و سبب کاهش کمتر وزن هزار دانه و نهایتا شاخص برداشت در شرایط تنش آبی شده است (; Jahan *et al*., 2013 Barati & Ghadiri., 2016).

در مقابل، در شرایط استفاده از کود شیمیایی، این اثرات تسهیل کننده برای دسترسی به آب که در سامانه‌های زیستی و تلفیقی مطرح است، وجود ندارد. از طرفی، کودهای شیمیایی با افزایش نسبت اندام‌های هوایی به ریشه (Barker, 2016) سبب افزایش تعرق گیاه و کاهش محتوای آب در نیم رخ خاک می‌شوند. از اینرو، دسترسی کمتر به آب در مراحل پایانی دوره پر شدن دانه به ویژه در مناطق خشک رخ می‌دهد. بنابراین، استفاده از کودهای شیمیایی سبب افزایش شدت تنش آبی شده و به دنبال آن کاهش بیشتر فتوسنتز و انتقال مجدد و بنابراین وزن دانه و شاخص برداشت نسبت به شرایط استفاده از سامانه‌های زیستی می‌شود. یافته‌های برخی دیگر از پژوهشگران در مورد گیاه جو (Niazi ardakani *et al*., 2021 Barati & Ghadiri., 2016;) و تریتیکاله (Barati *et al*., 2022) این تفسیر را تایید می‌نماید.

برهم‌کنش الگوی کاشت × سامانه کودی بر شاخص برداشت نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). بیشترین شاخص برداشت در کشت مخلوط نخود با کاربرد کود زیستی (۵۳/۷ درصد) و کمترین مقدار آن با کاربرد کود شیمیایی در کشت مخلوط نخود (۳۱/۵ درصد) به‌دست آمد (جدول۵). در پژوهش دیگری (Neugschwandtner & Kaul, 2014) نیز که بر روی کشت مخلوط نخود/ جو دوسر انجام شد، بیشترین میزان شاخص برداشت نخود در کشت مخلوط با جو دوسر و در تیمار عدم مصرف نیتروژن بدست آمد. در آزمایش حاضر، در کشت مخلوط، شاخص برداشت نخود با کاربرد کود شیمیایی نسبت به سامانه‌های کود زیستی و تلفیقی به‌ترتیب ۴۱ و ۴۰ درصد کاهش داشت. در مقابل، این کاهش در شرایط مشابه در کشت خالص به‌ترتیب ۲۶ و ۲۵ درصد بود (جدول۵). تغذیه متعادل عناصر غذایی در شرایط استفاده از کود زیستی و تلفیقی (Sujatha *et al*., 2008) نسبت به کاربرد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر در شرایط کشت خالص می‌تواند دلیل کاهش عملکرد زیست‌توده نخود در شرایط استفاده از کود شیمیایی باشد. کاهش بیشتر شاخص برداشت با کاربرد کود شیمیایی نسبت به سامانه‌های کود زیستی در شرایط کشت مخلوط نسبت به خالص نشان دهنده افزایش رقابت بین گونه-ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای با کاربرد کود شیمیایی در مقایسه با کود زیستی و تلفیقی است. همچنین، در پژوهشی بر روی کشت مخلوط نخود و یولاف، کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن منجر به کاهش شاخص برداشت در نخود شد

(Neugschwandtner & Kaul, 2014). برخی دیگر از پژوهشگران نیز نشان داده اند که با کاربرد مقادیر بالای کود نیتروژن، زیست‌توده غلات افزایش بیشتری می‌یابد (Pelzer *et al.*, 2014) و سایه اندازی بر روی حبوبات منجر به کاهش نور دریافتی و کاهش سطح فتوسنتز کننده شده و بنابراین در نهایت کاهش وزن دانه و شاخص برداشت رخ می‌دهد (Neugschwandtner & Kaul, 2014).

نسبت برابری زمین

شاخص نسبت برابری زمین (LER) یکی از شاخص‌هایی است که مزایای کشت مخلوط را نشان می‌دهد (Fetene, 2003). و به‌طور گسترده‌ای کارایی استفاده از زمین در کشت مخلوط را توصیف می‌کند (Mead & Willey, 1980). این شاخص از حاصل جمع دو جزء تشکیل شده است (معادله ۴). اگر عدد حاصل از هر جزء و حاصل جمع دو جزء به ترتیب بیشتر از ۰/۵ و ۱ باشد، نشان دهنده برتری کشت مخلوط به ترتیب در جزء مربوطه و کل سامانه مخلوط است. در تمام تیمارهای آزمایش حاضر، LER کل بالاتر از یک بود که بیانگر مطلوب بودن سامانه کشت مخلوط تریتیکاله/ نخود می‌باشد (جدول۷).

نتایج تجزیه واریانس شاخص برابری زمین نشان داد، شاخص برابری زمین نخود و کل به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول۶). بیشترین نسبت برابری زمین در تیمارهای مربوط به تنش آبی مشاهده شد (جدول۷). تنش آبی سبب افزایش نسبت برابری زمین نخود و کل به‌ترتیب به میزان ۶۵ و ۵۱ درصد نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی شد (جدول۷). همروند با نتایج آزمایش حاضر، سایر پژوهشگران نیز، در کشت مخلوط جو/ نخود (Mohavieh Asadi *et al.*, 2019) و جو/ باقلا (Niksirat *et al.*, 2018) نتایج مشابهی را به‌دست آوردند.

جدول۶- تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری و سامانه کودی بر نسبت برابری زمین کل و جزء مربوط به نخود در کشت مخلوط نخود با تریتیکاله

Table 6. Analysis of variance for the effect of irrigation regime and fertilizer system on $LER_{chickpea}$ and LER_{total} in chickpea-triticale intercropping

		میانگین مربعات **Mean of squares**	
		نسبت برابری زمین **(LER)**	
منابع تغییر **S.O.V**	درجه آزادی **df**	نخود **chickpea**	کل **Total**
(R) تکرار Replication	2	0.0006^{ns}	0.0081^{ns}
(Ir) رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	1	0.4802^{**}	1.4000^{**}
خطای (الف) Error (a)	2	0.0091	0.0016
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)	2	0.0381^{**}	0.0247^{ns}
Ir × Fs	2	0.0024^{ns}	0.0089^{ns}
خطای (ب) Error (b)	8	0.0018	0.0141
ضریب تغییرات (درصد) $CV^{€}$ (%)		6.55	8.85

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد. ns: غیرمعنی‌داری.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. ns: Non significant; €: Coefficient of variation

شاخص برابری زمین در نخود تحت تاثیر سامانه کودی نیز قرار گرفت (جدول۶). شاخص برابری زمین نخود در تیمارهای کود تلفیقی و زیستی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند، اما، این شاخص در سامانه‌های کودی مذکور به طور معنی‌دار و به ترتیب به مقدار ۲۷ و ۲۱ درصد بیشتر از سامانه کود شیمیایی بود (جدول۷). نسبت برابری زمین رابطه مستقیمی با عملکرد محصول در کشت مخلوط دارد. بنابراین، برتری نسبت برابری زمین نخود در تیمارهای تلفیقی و زیستی

را می‌توان با بیشتر بودن عملکرد نخود در کشت مخلوط و کاربرد این سامانه‌ها نسبت به کود شیمیایی در ارتباط دانست. در همین راستا، در پژوهشی بر روی کشت مخلوط غلات/ ماشک، با کاربرد کود زیستی افزایش نسبت برابری زمین ماشک مشاهده شد (Mariotti *et al*., 2006).

جدول۷- اثرات رژیم آبیاری و سامانه کودی بر نسبت برابری زمین نخود و کل

Table 7. Effects of irrigation regime and fertilizer system on $LER_{chickpea}$ and LER_{total}

	میانگین مربعات **Mean of squares**	
	نسبت برابری زمین **(LER)**	
تیمار **Treatment**	نخود **chickpea**	کل **Total**
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)		
مطلوب Normal	*0.49[b]	1.07[b]
تنش آبی Water stress	0.81[a]	1.62[a]
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)		
شیمیایی[£] Chemical	0.56[b]	1.28[a]
تلفیقی[££] Integrated	0.71[a]	1.41[a]
زیستی[¥] Organic	0.68[a]	1.35[a]

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD)، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. £: کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن برهکتار) ، ££: کود تلفیقی (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*) ، ¥: کود زیستی (۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار، تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using LSD test. £: Chemical (50 kg P ha-1 and 150 kg N ha-1), ££: Integrated (25 kg P ha-1, 75 kg N ha-1 and 20 tons ha-1 of sheep manure + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*), ¥: Organic (40 tons sheep manure ha-1 + inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*)

گیاهان زراعی که با تراکم بالا کشت می‌شوند (مانند غلات) به مقادیر نیتروژن بیشتری احتیاج دارند که از خاک برداشت می‌کنند (Barker, 2016). زمانی که در کشت مخلوط تریتیکاله با نخود، از سطوح بالای کود نیتروژن استفاده شود، تریتیکاله از نیتروژن قابل دسترس استفاده بیشتری نموده و با افزایش زیست‌توده، از طریق سایه‌اندازی بر روی نخود، عملکرد آن را کاهش داده و به‌دنبال آن، نسبت برابری زمین نخود نیز کاهش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن، نسبت برابری زمین نخود کاهش یابد. نیک سیرت و همکاران (Niksirat *et al*., 2017) نیز نتیجه گرفتند، که رقابت اصلی بین رقم‌های جو با نخود و باقلا بر سر جذب نور می‌باشد و به وسیله‌ی مقدار سایه‌اندازی گونه‌های رقیب تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در تحقیقاتی که بر روی کشت مخلوط گندم یا جو با حبوبات انجام شد، نیتروژن به صورت کود شیمیایی بر نسبت برابری زمین حبوبات تاثیر منفی داشت (Pelzer *et al*., 2014). بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش محسن آبادی و همکاران (Mohsen Abadi *et al*., 2008) بالاترین میزان نسبت برابری زمین در تیمار عدم کاربرد نیتروژن مشاهده شد. همچنین، همروند با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، در کشت مخلوط لوبیا چیتی/ خردل سیاه (Raei *et al*., 2020) و کشت مخلوط گلرنگ/ باقلا (Saeidi *et al*., 2018) بیشترین نسبت برابری زمین حبوبات در تیمار کود تلفیقی (شیمیایی+ زیستی) حاصل شد. علاوه بر موارد مطرح شده در بالا، می‌توان گفت که جو نسبت به نخود و باقلا سریع‌تر جوانه می‌زند و در طول فصل رشد بر روی نخود و باقلا سایه‌اندازی دارد، که این سبب یک برتری در جذب نور برای جو محسوب شده و با افزایش مقدار فتوسنتز، برتری گیاه جو را از نظر عملکرد سبب می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش آبی پس از گلدهی منجر به کاهش عملکرد دانه نخود و اجزایی از عملکرد شد که در این مرحله تشکیل شدند. اما، این کاهش در بین تیمارهای مختلف متفاوت بود. برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه کودی نشان داد، بیشترین کاهش عملکرد دانه در سامانه کودی شیمیایی (۶۸ درصد) و کمترین آن در تیمار کود زیستی (۲۷ درصد) مشاهده شد. برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت نیز نشان داد، بیشترین و کمترین کاهش عملکرد دانه بواسطه تنش آبی به ترتیب در تیمار کشت خالص (۵۵ درصد) و مخلوط نخود (۲۴ درصد) مشاهده شد. همچنین، در شرایط تنش آبی، نسبت برابری زمین نخود و کل به‌ترتیب به میزان ۶۵ و ۵۱ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب افزایش پیدا کرد. زمانی که دو گونه گیاهی در کشت مخلوط کنار هم قرار می‌گیرند، از منابع محیطی به طور متفاوتی استفاده می‌کنند و با اشغال آشیان‌های اکولوژیک متفاوت، رقابت کمتری برای جذب آب، مواد غذایی و نور با یکدیگر ایجاد می‌کنند، که این موضوع باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با تک-کشتی می‌شود. بنابراین، در صورتی که کشاورزان مناطق گرم و نیمه خشک به‌دلیل کمبود منابع آب، قصد قطع آبیاری پس از گلدهی در گیاه نخود را داشته باشند، کشت مخلوط نخود با تریتیکاله و کاربرد کود زیستی به‌عنوان جایگزین بوم سازگار برای کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر می‌تواند سبب کاهش کمتر عملکرد دانه در این شرایط شود.

منابع

1. Abbasi, A.K.R, Hejazi, A.E., Akbari, G.A., Kafi, M. and Zand, E., 2006. Study on different densities in chickpea and cumin emphasized on weed control in Mashhad. Iranian journal in crop field research 4(1): 83-94. (In Persian).
2. Ahmadvand, G., and Hajinia, S. 2016. Ecological aspects study of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Agroecology 7(4): 485-498. (In Persian with English Summary).
3. Alizadeh, A. 2001. Soil-water-plant relationship. Emam Reza University, Mashhad, Iran. (In Persian)
4. Aloni, R.; Aloni, E.; Langhans, M.; Ullrich, C.I. 2006. Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: Regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. Annals of Botany 97: 883-893. https://doi.org/10.1093/aob/mcl027
5. Arkhipova, T.N., Veselov, S.U., Melentiev, A.I., Martynenko, E.V., Kudoyarova, G.R. 2005. Ability of bacterium Bacillus subtilis to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants. Plant and Soil 272: 201-209. https://doi.org/10.1007/s11104-004-5047-x
6. Asadi, G., Ahmadzadeh Ghavidel, R., Puryazdi, M. T., Ghorbani, R., and Khorramdel, S. 2018. Effect of plant density and manure application rate on yield and yield components of various common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Iranian Journal Pulses Research 9(1): 12-28. https://dx.doi.org/10.22067/ijpr.v9i1.50242 . (In persian with English summary)
7. Barati, V. and Bijanzadeh, E., 2020. Triticale forage crop quality as affected by water stress and nitrogen biofertilizer in an arid climate. Iran Agricultural Research 39(2): 57-68. https://dx.doi.org/10.22099/IAR.2021.38134.1404
8. Barati, V., and Ghadiri, H. 2016. Effects of Drought Stress and Nitrogen Fertilizer on Yield, Yield Components and Grain Protein Content of Two Barley Cultivars. Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing 6(20): 191-207. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.20.191. (In Persian with English Summary).
9. Barati, V., Bijanzadeh, E., Emam, Y., and Pessarakli, M. 2022. Nitrogen nutrition effects on triticale photosynthesis and assimilate translocation under late-season water stress conditions. Journal of Plant Nutrition 45(3): 439-456. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1943677
10. Barker, A.V. 2016. Science and Technology of Organic Farming. Emam Reza University, Mashhad, Iran. (In Persian).
11. Bechtaoui, N., El Alaoui, A., Raklami, A., Benidire, L., Tahiri, A. I., and Oufdou, K. 2019. Impact of intercropping and co-inoculation with strains of plant growth-promoting rhizobacteria on phosphorus and nitrogen concentrations and yield of durum wheat (*Triticum durum*) and faba bean (*Vicia faba*). Crop and Pasture Science 70(8): 649-658. https://doi.org/10.1071/CP19067
12. Bedoussac, L., and E. Justes. 2011. A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. Field Crops Research 124(1): 25-36. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025

13. Bedoussac, L., Justes, E., 2010. The efficiency of a durum wheat winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. Plant and Soil 330(1): 19-35. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0082-2
14. Burdman, S., Saric, S., Kigel, J., and Okon, Y. 1996. Field Inoculation of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Chick Pea (*Cicer arietinum* L.) with Azospirillum brasilense Strain Cd. Symbiosis 21: 41-48.
15. Bybee-Finley, K.; Ryan, M. 2018. Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. Agriculture 8(6): 80. https://doi.org/10.3390/agriculture8060080
16. Carranca, C., De Varennes, A., and Rolston, D. 1999. Biological nitrogen fixation by fababean, pea and chickpea, under field conditions, estimated by the 15N isotope dilution technique. European Journal of Agronomy 10(1): 49-56. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00049-5
17. Dai, J., Qiu, W., Wang, N., Wang, T., Nakanishi, H., and Zuo, Y. 2019. From Leguminosae/Gramineae intercropping systems to see benefits of intercropping on iron nutrition. Frontiers in plant science 10: 605. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00605
18. Daneshvar, M.R.M., Ebrahimi, M., and Nejadsoleymani, H. 2019. An overview of climate change in Iran: facts and statistics. Environmental Systems Research 8(1): 1-10. https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3
19. Emam, Y. 2017. Cereal production. Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Persian).
20. Erdemci, İ. 2020. Effect of Pseudomonas Fluorescent Rhizobacteria on Growth and Seed Quality in Lentil (*Lens Culinaris* Medik.). Communications in Soil Science and Plant Analysis 51(14): 1852-1858. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1798987
21. Eskandari, H., and Kazemi, K. 2020. Response of grain yield and water use efficiency of wheat and faba bean to partial root-zone irrigation in intercropping. Environmental Stresses in Crop Sciences 13(3): 777-792. https://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2267.1579 . (In Persian with English Summary).
22. Fetene, M. 2003. Intra-and inter-specific competition between seedlings of Acacia etbaica and a perennial grass (Hyparrenia hirta). Journal of Arid Environments 55(3): 441-451. https://dx.doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00052-1
23. Fujita, K., Ofosu-Budu, K. G., and Ogata, S. 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems. Plant and soil 141(1): 155-175. https://doi.org/10.1007/BF00011315
24. Ghasembagloo, M., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2021. The Effect of Biofertilizers on Grain Yield and Yield Components of Pea (*Pisum sativum* L.) under Different Levels of Irrigation. Journal of agricultural science and sustainable production 31(3):169-180. https://dx.doi.org/10.22034/saps.2021.43011.2583. (In Persian with English Summary).
25. Gliessman, S.R. 2001. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
26. Grimes, D.W., Yamada, H., and Hughes, S.W. 1987. Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. Agricultural Water Management 12(4): 293-304. https://doi.org/10.1016/0378-3774(87)90004-7
27. Hamaoui, B., Abbadi, J.M., Burdman, S., Rashid, A., Sarig, S. and Okon, Y. 2001. Effects of inoculation with Azospirillum brasilense on chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and faba beans (*Vicia faba*) under different growth conditions. Agronomy 21(6-7): 553-560. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886133
28. Hauggaard-Nielsen, H., and Jensen, E.S. 2005. Facilitative root interactions in intercrops. In Root physiology: from gene to function. Springer, Dordrecht 274: 237-250. https://doi.org/0.1007/s11104-004-1305-1
29. Hauggaard-Nielsen, H., Gooding, M., Ambus, P., Corre-Hellou, G., Crozat, Y., Dahlmann, C., Dibet, A., von Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., and Jensen, E.S. 2009. Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N2 fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. Field Crops Research 113(1): 64-71. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.009
30. Herridge, D.F., Marcellos, H., Felton, W.L., Turner, G.L., and Peoples, M.B. 1995. Chickpea increases soil-N fertility in cereal systems through nitrate sparing and N2 fixation. Soil Biology and Biochemistry 27(4-5): 545-551. https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)98630-7
31. Jahan, M., Aryaee, M., Amiri, M.B., and Ehyaee, H.R. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on quantitative and qualitative characteristics of Sesamum indicum L. with application of cover crops of Lathyrus sp. and Persian clover (Trifolium resopinatum L.). Journal of agroecology 5(1): 85. (In Persian with English Summary).

32. Khalegh nezhad, V. and Jabari, F . 2015. Effect of Seed Inoculation with Rhizobium and Plant Growth Enhancing Rhizobacteria (PGRP) on Yield and Yield Components of Chickpea in Faryab and Rainfed Conditions. Journal crop improvment 957-972. (In Persian).
33. Kour, D., Rana, K. L., Kaur, T., Sheikh, I., Yadav, A. N., Kumar, V., and Saxena, A. K. 2020. Microbe-mediated alleviation of drought stress and acquisition of phosphorus in great millet (Sorghum bicolour L.) by drought-adaptive and phosphorus-solubilizing microbes. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 23: 101501. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101501
34. Kumar, J., and Abbo, S. 2001. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. Advance in agronomy 72: 107-138. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)72012-3
35. Li, H., Ma, Q., Li, H., Zhang, F., Rengel, Z., and Shen, J. 2014. Root morphological responses to localized nutrient supply differ among crop species with contrasting root traits. Plant and Soil 376(1): 151-163. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1965-9
36. Macik, M., Gryta, A., and Frac, M. 2020. Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. Advances in agronomy 162: 31-87. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001
37. Marcellos, H., Felton, W.L., and Herridge, D.F. 1998. Chickpea in wheat-based cropping systems of northern New South Wales I. N2 fixation and influence on soil nitrate and water. Australian Journal of Agricultural Research 49(3): 391-400. https://doi.org/10.1071/A97066
38. Mariotti, M., Masoni, A., Ercoli, L., and Arduini, I. 2006. Forage potential of winter cereal/legume intercrops in organic farming. Italian Journal of Agronomy 1(3): 403-412. https://doi.org/10.4081/ija.2006.403
39. Mazaheri, D., 1998. Intercropping. Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian).
40. Mead, R., Willey, R. 1980. The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. Experimental Agriculture 16(3): 217-228. https://doi.org/10.1017/S0014479700010978
41. Meier, U. 2001. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. 141.
42. Mirzaei, A., Naseri, R., Torab Miri, S.M., Soleymani Fard, A. and Fathi, A. 2018. Reaspose of Yield and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars to the Application of Plant Growth Promoting RhizohBacteria and Nitrogen Chemical Fertilizer under Rainfed Conditions. Journal of Crop Ecophysiology 11(4): 775-790.
43. Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., and Behpouri, A. 2019. Evaluation of seed yield and competitive indices in relay intercropping of barley (Hordeum vulgare L.) with chickpea (Cicer arietinum L.) under late season low water stress. Journal of Agroecology 11(3): 1169- 1182. https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.79532 . (In persian with English Summary).
44. Mohsen Abadi, Gh. R, Jahansooz, M., Chayichi, M., Rahmatian Mashhadi, R., Liaghat, A., and Savabeghi Firoozabadi, G. 2008. Evaluation of barley-vetch intercropping at different levels of nitrogen rates. International Journal of Agricultural Science and Technology 10(1): 23-31. https://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2008.10.1.3.5 .(In Persian).
45. Mokhtari Hashi, H. and Moradi, A. 2021. Environmental Consequences of the Water Crisis in Iran. Political Spatial Planning 3(2): 117-131.
46. Monti, M., Pellicanò, A., Santonoceto, C., Preiti, G., and Pristeri, A. 2016. Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in Mediterranean environment. Field Crops Research 196: 379-388. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.017
47. Moradi, M., Siadat, A., Khavazi, K., Naseri, R., Maleki, A., and Mirzaei, A. 2011. Effect of application of bio-fertilizer and phosphorous fertilizers on quantities and qualitative traits of spring wheat. Journal of Crop Ecophysiology 5(18): 51-66. (In Persian).
48. Neugschwandtner, R.W., and Kaul, H.P. 2014. Sowing ratio and N fertilization affect yield and yield components of oat and pea in intercrops. Field Crops Research 155: 159-163. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.09.010
49. Niazi Ardakani, M., Barati, V. and Bijanzadeh, E. 2020. Physiological and biochemical characteristics of barley as affected by biofertilizer, crop residues and water stress. Journal of Plant Process and Function, 9(36): 279-298. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6. (In Persian with English Summary)
50. Niazi Ardakani, M., Barati, V., Bijanzadeh, E. 2021. Effect of application of nitrogen-fixing bacteria and plant residues on re-transfer of cultivated materials and barley yield under post-flowering moisture stress

conditions. Environmental stresses in crop sciences 14(1): 47-62. https://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2500.1656 . (In Persian).

51. Nieto, K.F.; Frankenberger Jr, W.T. 1989. Biosynthesis of cytokinins by Azotobacter chroococcum. Soil Biol. Bio chemistry 21(7): 967-972. https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90089-8
52. Niggli, U., Plagge, J., Reese, S., Fertl, T., Schmid, O., Brändli, U., Bärtschi, D., Pöpsel, G., Hermanowski, R., Hohenester, H. and Grabmann, G. 2015. Towards modern sustainable agriculture with organic farming as the leading model. A discussion document on Organic 3: 36.
53. Niksirat, H., Bijanzadeh, E., and Naderi, R. 2018. Effect of late season drought stress and different combination of intercropping with barley on yield and yield components of chickpea and faba bean. Iranian Journal Pulses Research, 9(1), pp.177-191. https://dx.doi.org/10.22067/ijpr.v9i1.56037. (In Persian with English Summary).
54. Niksirat, S.H., Bijanzadeh, E., and Behpouri, A. 2017. Effect of cutting off irrigation on yield and advantage indices of barley intercropped with legumes. Plant Eco physiology 10(34): 46-58. https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.55828 . (In Persian with English Summary).
55. Pelzer, E., Bazot, M., Makowski, D., Corre-Hellou, G., Naudin, C., Al Rifaï, M., Baranger, E., Bedoussac, L., Biarnès, V., Boucheny, P. and Carrouée, B., 2012. Pea–wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. European Journal of Agronomy 40: 39-53. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.01.010
56. Pelzer, E., Hombert, N., Jeuffroy, M.H., and Makowski, D. 2014. Meta-analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal-legume intercrop production. Agronomy Journal 106(5): 1775-1786. https://doi.org/10.2134/agronj13.0590
57. Pereira, S.I.A., Abreu, D., Moreira, H., Vega, A. and Castro, P.M.L., 2020. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (Zea mays L.) under water deficit conditions. Heliyon 6(10): e05106. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05106
58. Pilbeam, C.J., Wood, M., Harris, H.C., and Tuladhar, J. 1998. Productivity and nitrogen use of three different wheat-based rotations in North West Syria. Australian journal of Agricultural research 49(3): 451-458. https://doi.org/10.1071/A97015
59. Pour Musavi, M., Ghalavi, Daneshiyan, J.M., Ghanbari, N., Basirian, A.2007. Effects of drought stress and manure on leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content in soybean (Glycine max). Journal of Agricultere Science Natural Resource 14(4): 125-134. (In Persian with English Summary).
60. Raei, Y., Sayyadi Ahmadabad, M., Ghassemi-Golezani, K., and Ghassemi, S. 2020. The effect of biological and chemical nitrogen fertilizers on pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and black mustard (*Brasassica nigra* L.) intercropping. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 30(3): 21-40. (In Persian).
61. Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D. and Shankhdhar, S.C. 2021. Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21(1): 49-68. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7
62. Rezaei-Chiyaneh, E., Rasouli, Y., Jalilian, J., and Ghodsi, M. 2019. Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition. Journal of Agroecology 11(1): 69-85. https://doi.org/10.22067/v11i1.71201 . (In persian with English Summary).
63. Rezaei-chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Ghiyasi, M., and Amirnia, R. 2015. Effect of integrated organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming conditions. Research in Field Crops 3(1): 55-69. (In Persian).
64. Rezapoorian, F., Galeshi, S., Zeinali, E., and Torabi, B. 2020. The effect of inoculation with Growth Promoting Bacteria, Mycorrhiza and Phosphorus on yield and yield components of Mungbean (Vigna radiata L.). Iranian Journal Pulses Research 11(1): 134-151. https://dx.doi.org/10.22067/ijpr.v11i1.73888 . (In persian with English Summary).
65. Risse, L.M., Cabrera, M.L., Franzluebbers, A.J., Gaskin, J.W., Gilley, J.E., Killorn, R., Radcliffe, D.E., Tollner, W.E. and Zhang, H. 2006. Land application of manure for beneficial reuse. 283. https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/65
66. Rupela, O.P., and Saxena, M.C. 1987. Nodulation and nitrogen fixation in chickpea. The chickpea 191-206.
67. Saeidi, M.R., Raei, Y., Amini, R., Taghizadeh, A., and Pasban Eslam, B. 2018. Evaluation of Yield and Protein Content of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Intercropping with Faba bean (*Vicia faba* L.)

under Biological and Chemical Fertilizers. Agricultural knowledge and sustainable production 28(4): 247-260. (In Persian with English Summary).

68. Salari, F., Khalesro, S., Heidari, G. and Ghobari, H. 2020. Comparison of quantitative and qualitative traits of safflower and chickpea in replacement and additive intercropping systems. Iranian Journal of Field Crop Science, 51(3): 129-138. https://dx.doi.org/10.22059/ijfcs.2019.269888.654549 . (In Persian with English Summary).
69. Sandhya, V., Ali, S.K.Z., Grover, M., Reddy, G., and Venkateswarlu, B. 2010. Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. Plant Growth Regulation 62(1): 21-30. https://doi.org/10.1007/s10725-010-9479-4
70. Siczek, A., Frac, M., Kalembasa, S., and Kalembasa, D. 2018. Soil microbial activity of faba bean (*Vicia faba* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) rhizosphere during growing season. Applied Soil Ecology 130: 34-39. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.05.012
71. Singh, J.S., Pandey, V.C., and Singh, D.P. 2011. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. Agriculture, ecosystems and environment 140(3-4): 339-353. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017
72. Sujatha, M.G., Lingaraju, B.S., Palled, Y.B., and Ashalath, K.V. 2008. Importance of integrated nutrient management practices in maize under rain fed condition. Karnataka Journal of agricultural science 21(3): 334-338.
73. Thilakarathna, M.S., McElroy, M.S., Chapagain, T., Papadopoulos, Y.A., Raizada, M.N. 2016. Belowground nitrogen transfer from legumes to non-legumes under managed herbaceous cropping systems. A review. Agronomy foe Sustainable Development. 36(4): 1-16. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0396-4
74. Vurukonda, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., SkZ, A. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiology Research 184: 13-24. https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003
75. Wallace, J., Frick, B.L., Telford, L., and Martens, J.T. 2017. Organic Field Crop Handbook. Canadian Organic Growers, Ottawa, Ontario, Canada. 422p.
76. Wang, B., Liu, C., Zhang, D., He, C., Zhang, J., and Li, Z. 2019. Effects of maize organ-specific drought stress response on yields from transcriptome analysis. BMC Plant Biology 19(1): 1-19. https://doi.org/10.1186/s12870-019-1941-5
77. Willey, R.W. 1979. Intercropping–Its importance and research needs. I. Competition and Yield Advantages. Field Crop Abstracts 32: 1-10, II. Agronomy and research approaches. In Field Crop Abstracts 32: 73-85.
78. Yin, W., Chai, Q., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z., Hu, F., Fan, H., Guo, Y. and Coulter, J.A. 2020. Water utilization in intercropping: A review. Agricultural Water Management 241: 106335. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335
79. Zaidi, A., M. Saghir Khan and Amil. M. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). European Journal Agronomy 19(1): 15-21. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00015-1

Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: **https://ijpr.um.ac.ir**
Vol. 14, No. 1, June 2023, p. 112-132 (Original Research Article)




Reaction of chickpea grain yield and its components in triticale-chickpea intercropping to chemical and bio fertilizers under water stress conditions

Rashidipour[1], Ida; Barati[2*], Vahid; and Bijanzadeh[3], Ehsan

1. MSc. Student, Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz; aidarashidipur@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6049-3554
2. Assistant Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz; v.barati@shirazu.ac.ir; ORCID: 0000-0002-0600-8359
3. Associate Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz; bijanzd@ shirazu.ac.ir; ORCID: 0000-0003-2076-2048

The Dates:
Received: 20 July 2022; **Revised:** 7 December 2022
Accepted: 29 December 2022; **Available Online:** 22 June 2023

How to cite this article:
Rashidipour, I., Barati, V., and Bijanzadeh, E. 2023. Reaction of chickpea grain yield and its components in triticale-chickpea intercropping to chemical and bio fertilizers under water stress conditions. Iranian Journal of Pulses Research 14(1): 112-132. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/ijpr.v14i1.2207-1040

Introduction

Water stress and nitrogen (N) excess or defficiency are the major problems and the main cause of yield and yield components reduction as compared to other non-biological stresses (Barati & Bijanzadeh, 2020) in crop productions of arid areas. Organic farming is proposed as a solution for above problems. This farming system reduce using of chemical inputs and irrigation water use. The utilization of free aerobic bacteria, such as Azospirillum brasilense, in organic farming practices offers the potential to reduce the need for nitrogen fertilizer by harnessing the ability of these bacteria to stabilize atmospheric nitrogen (N2). Similarly, the application of Pseudomonas fluorescens can enhance the availability of soluble phosphorus in the soil, benefiting plant growth and nutrient uptake. In addition, intercropping is recommended as a strategy to enhance biodiversity in organic farming systems. This approach can alleviate water and nutrient stresses by reducing competition among plants for these resources in the soil. However, there is a lack of information regarding the interaction between organic fertilizer and the triticale-chickpea intercropping system in mitigating the detrimental effects of water stress on chickpea. To address this knowledge gap, the present study was conducted in the arid region of Darab, located in the Fars province of southern Iran. Therefore, this study was aimed to investigate the interaction effect of different fertilizer systems (chemical, Integrated and biological) and different irrigation regimes on the yield and yield components of chickpea in sole and intercropping of chickpea-triticale, in an arid area of southern Iran (Fars province - Darab).

Materials and Methods

This experiment was performed as a split factorial on a randomized complete block design with three replications in the research farm of Darab Faculty of Agriculture and Natural Resources - Shiraz University in the 2019-2020 growing season. Experimental treatments included two levels of irrigation (Ir) [Normal (IR_N): irrigation based on the plant water requirement and water stress (WS): irrigation based on the plant water requirement up to the flowering stage] as the main factor. Sub-factors included three sources of fertilizer system (Fs) [Chemical: 50 kg P ha^{-1} +150 kg N ha^{-1}, Integrated: 25 kg P ha^{-1} + 75 kg N ha^{-1} + 20 tons manure sheep ha^{-1} + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilens*, Bio: 40 tons manure sheep ha^{-1} + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasillens*] and two types

* **Corresponding Author:** v.barati@shirazu.ac.ir

of cropping system (Cs) [monoculture of chickpea and intercropping of triticale-chickpea (1:1)]. Grain yield and its components of chickpea was measured and harvest index (%) were calculated. Data were analyzed using SAS 9.1 software and the means were separated by least significant difference (LSD) test at 5% probability level.

Results and Discussion

The Ir × Fs interaction showed that the water stress significantly reduced grain yield of chickpea. However, it's the highest and lowest reduction was obtained in the chemical and bio fertilizer treatments by 68% and 27%, respectively. In a similar study, the lowest reduction in chickpea yield under water stress compared to normal irrigation was obtained in bio fertilizer treatment (Khalegh nezhad & Jabari, 2015). The Ir × Cs interaction also showed significant effect on the grain yield. The impact of water stress on grain yield varied depending on the cropping system, with the highest reduction observed in monocropped chickpea (55%) and the lowest reduction in intercropped chickpea (24%). This interaction also revealed that both intercropped and sole chickpea experienced decreases in yield and yield components under water stress, but the severity of the reduction was greater in sole cropping. Analysis of chickpea yield components, such as the number of pods per plant, biomass yield, and harvest index, showed similar trends as observed in grain yield under the Ir × Cs interaction. The Ir × Fs interaction had differing effects on the number of seeds per pod and seed weight, with water stress leading to a decrease in these traits. Similar to the behavior of grain yield, the least reduction in these traits under water stress was observed in the Bio and integrated fertilizer systems. Water stress increased the LER of pea and total LER by 65% and 51%, respectively, as compared to the IR_N conditions.

Conclusion

The results of this study showed that the water stress after flowering stage of chickpea led to a decrease in grain yield and its components that have been formed at this stage. If farmers intend to cut off irrigation after the flowering stage in chickpea due to the lack of water resources, it is suggested to use of chickpea-triticale intercropping system and the bio or integrated fertilizers that are as environmentally friendly alternatives to chemical fertilizers for increasing chickpea grain yield.

Keywords: Biological yield، Harvest index، Low input، Sustainable agriculture